



Estruturas mistas no contexto da pré-fabricação: alternativa à ligação viga-laje pré-fabricada

Composite structures in the context of precasting: alternatives to beam-precast slab connection

Diógenes, H. J. F.(1); El Debs, A. L. H. C. (2); Valente, M. I. B. (3)

(1) Doutorando em Engenharia de Estruturas, EESC-USP.

email: hdstructural@hotmail.com

(2) Professora Associada, EESC-USP

Email: analucia@sc.usp.br

(3) Professora Auxiliar, Universidade do Minho

e-mail: isabelv@civil.uminho.pt

Av. Trabalhador São Carlense, 400 – São Carlos – SP - Brasil

Resumo

O intenso processo de industrialização sofrido pela construção civil nos últimos anos está associado à busca por sistemas estruturais e/ou construtivos que visem à racionalização da construção, entre os quais se destacam os sistemas mistos de aço e concreto. Um sistema misto de aço-concreto visa extrair o máximo desempenho dos materiais. Para tanto, é necessário que se garanta a melhor interação possível entre os materiais. Nesse contexto, o comportamento das conexões entre os elementos de aço e concreto pré-fabricado, é um fator determinante na escolha do sistema construtivo. O presente trabalho apresenta e discute soluções para a conexão entre a viga metálica e a laje de concreto, tendo como enfoque as ligações por aderência. São apresentadas tanto soluções que utilizam conectores do tipo Pino, mais usuais, até às mais recentes soluções, no caso, as ligações por aderência, que tem se demonstrado bastante promissora em termos de resistência. Por fim, são apresentados resultados específicos de novas soluções para a conexão viga-laje, no contexto de uma solução pré-fabricada.

Palavras-Chave: Estruturas mistas, ligação viga-laje, conectores de cisalhamento, ligação por aderência.

Abstract

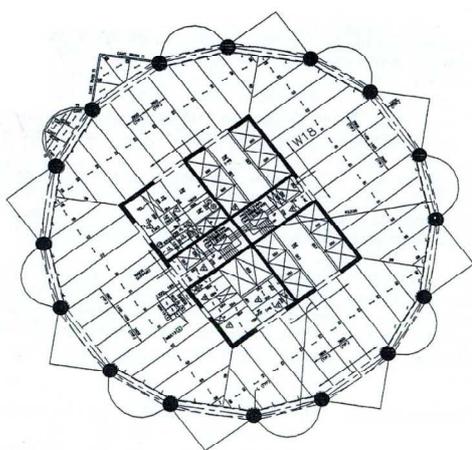
The intense process of industrialization suffered by construction in recent years is associated with the search for structural and/or constructive systems aiming the rationalization of construction, among which stand out the composite systems of steel and concrete. A composite system of steel-concrete aims to extract maximum performance of materials. Therefore, it is necessary to ensure the interaction between these materials. In this context, the behavior of connections between elements of steel and precast concrete is a determining factor in the choice of the structural system. This paper presents and discusses solutions to the connection between the steel beam and concrete slab, with the focus on the connections by adherence. Are presented as solutions that utilize stud connectors, more usual, as the latest solutions, connections by adherence, which has been shown quite promising in terms of strength. Finally is presented specific results of new solutions for the beam-slab connection in the context of prefabrication.

Keywords: Composite structures, beam-slab connections, shear connectors, connections by adherence.

1 Introdução

O intenso processo de industrialização sofrido pela construção civil nos últimos anos está associado à busca por sistemas estruturais e/ou construtivos que visem à racionalização da construção, entre os quais se destacam os sistemas mistos de aço e concreto. Como exemplo de construção mista de sucesso, pode-se citar a mundialmente conhecida *Petronas Towers* (Figura 1) na cidade de Kuala Lumpur (Malásia), de 95 pavimentos e 452 m de altura.

De acordo com Thornton, Hungspruke e Joseph (2001) as torres foram projetadas como um sistema estrutural misto de aço e concreto, sendo as paredes do núcleo central de concreto moldado in-loco e os pilares de seção circular interligados por vigas formando um anel no contorno da edificação. O núcleo e o anel circular foram interligados por vigas metálicas. O pavimento desta região, assim como das regiões em balanço – também compostas por vigas metálicas – foi construído com lajes tipo *steel deck*.



(a)



(b)

Figura 1 – (a) Pavimento típico do Edifício Petronas Towers (THORNTON, HUNGSPRUKE e JOSEPH 2001); (b) Edifício Petronas Towers (Fonte: Wikipédia¹).

Ainda segundo Thornton, Hungspruke e Joseph (2001), a escolha do concreto moldado no local se deu em virtude deste tipo de tecnologia ser muito comum e bem desenvolvida na região, aliado ao fato deste sistema apresentar grande vantagem econômica quando usado para suportar cargas verticais. Outro fator que justificou o seu uso foi a necessidade de um sistema simples e monolítico de construção para confecção das ligações viga x pilar, potencialmente complicadas devido às características geométricas particulares da edificação. Somado a isso, foi considerada a capacidade inerente do concreto de absorver vibrações, o que garantiria o conforto dos ocupantes em dias de ventos fortes.

Quanto ao uso do aço, Thornton, Hungspruke e Joseph (2001), justificaram sua adoção argumentando que o mesmo permite rapidez e flexibilidade na montagem, dando liberdade para construção fora de sequência, sempre se adequando ao ciclo de construção dos elementos de concreto; é um processo de construção industrializado; permite mudanças a edificação pelos clientes; possui peso próprio reduzido; permite redução de flechas nos balanços e dá liberdade para construção de áreas especiais onde era exigida uma leveza estrutural (elementos esbeltos).

¹ Link: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Petronas_Panorama_II.jpg

Um segundo exemplo de sucesso na aplicação de estruturas mistas, e mais recente, é o edifício “*The One Faria Lima*” (Figura 2). O edifício localizado no bairro do Itaim-bibi, zona sul da capital paulista, chama a atenção pela rapidez com que foi construído. Foram necessários apenas 18 meses para erguer os 16 pavimentos em estrutura mista com uma produtividade variando entre 5 mil m² e 6 mil m² por mês (Gomes e Tourrucô, 2012).

Segundo Gomes e Tourrucô (2012), o feito é fruto de um detalhado planejamento da obra e da adoção do sistema misto de aço-concreto como solução estrutural. A adoção do sistema misto implicou em uma redução de quatro meses no cronograma da obra possibilitando uma compensação econômica mais rápida para os investidores e uma economia no custo total da obra.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2 – (a) Detalhe da fachada; (b) Edifício “*The One Faria Lima*”; (c) Lajes *steel-deck*; (d) Detalhe da Estrutura Mista.

1.1 Estruturas mistas aplicadas a pré-fabricação

De acordo com o fib Model Code (2010), a construção em concreto moldado no local é na maioria das vezes a solução mais barata no contexto de obras convencionais, entretanto a pré-fabricação apresenta a vantagem da rápida execução e de fornecer elementos estruturais de elevada qualidade. Assim, a combinação das duas soluções, concreto pré-fabricado e estruturas mistas, podem resultar em uma estrutura com mais qualidade, executada com maior rapidez e economia.

Os sistemas mistos de aço e concreto são perfeitamente adaptáveis a um processo de pré-fabricação, por ser tratar de um sistema construtivo em que o todo, ou parte dele, pode ser fabricado fora de seu local de utilização definitivo.

O uso do concreto pré-fabricado em sistemas estruturais mistos é facilitado por sua aptidão em ser integrado a outros tipos de elementos. Como há a liberdade de se criar em uma peça de concreto pré-moldado uma infinidade de formas, é facilitada a geração de reentrâncias e saliências que ajudarão na solidarização com outros tipos de elementos estruturais. Ressalta-se que esta versatilidade de formas não implica obrigatoriamente no encarecimento da peça, principalmente se esta for inserida em um sistema de produção em série (BEZERRA, 2011).

Outro bom exemplo, agora aplicado ao concreto pré-fabricado, é o centro comercial “Iso Omena” (Big Apple) em Helsinque, Finlândia (Figura 1 2), com 160.000 m², construído em 2001. O “Iso Omena” trata-se de uma estrutura mista com pilares metálicos de seção circular preenchidos de concreto, vigas metálicas e lajes alveolares pré-moldadas. Nesta edificação, além de ser aproveitado o melhor de cada elemento, a combinação dos sistemas possibilitou que a laje pré-moldada fosse embutida entre as mesas da viga metálica, reduzindo assim a altura total da construção.



(a)



(b)



(c)

Figura 3 – (a) e (b) Fase construtiva (BEZERRA, 2011); (c) Aspecto final da edificação².

Um sistema misto de aço – concreto visa extrair o máximo desempenho dos materiais. Para tanto, é necessário que se garanta a melhor interação possível entre os materiais. Uma ação composta pode ser obtida reduzindo o deslocamento relativo da interface entre o aço e o concreto por meio da utilização de conectores de cisalhamento. Nesse contexto, o comportamento das conexões entre os elementos de aço e concreto pré-fabricado, é um fator determinante na escolha do sistema construtivo. Há uma

² Extraído de: <http://www.arktom.fi/#/projects/iso-omena-shopping-centre/>.

dificuldade de se garantir o comportamento monolítico, mas isto pode ser contornado com a elaboração de ligações eficientes.

Desta forma, em geral, as ligações são as partes mais importantes no projeto das estruturas de concreto pré-fabricado e mistas. Elas são de fundamental importância, tanto no que se refere à sua produção (execução de parte dos elementos adjacentes às ligações, montagem da estrutura e serviços complementares no local), como no comportamento da estrutura.

As ligações em estruturas mistas mais simples, normalmente as articulações, implicam em estruturas mais solicitadas a momentos fletores positivos. Em contrapartida, as ligações que tendem a reproduzir o comportamento monolítico das estruturas de concreto moldado no local, pela transmissão de momentos fletores entre os elementos, requerem mais trabalho, reduzindo em parte as vantagens da pré-moldagem.

As dificuldades associadas à execução deste último tipo de ligação se devem à complexidade de realizar a solidarização dos elementos envolvidos na ligação, o aço e o concreto. Além de ter que acomodar tolerâncias que intervêm nas várias fases de confecção da estrutura.

Na perspectiva de uma solução prática, econômica e rápida, ao paradigma das ligações em estruturas mistas de aço – concreto, as ligações por aderência se apresentam como uma solução inovadora e bastante promissora.

O estudo aprofundado do comportamento das ligações por aderência tem condições de proporcionar, a curto e médio prazo, o aperfeiçoamento de modelos de cálculo e técnicas construtivas. No âmbito deste estudo, pretende-se estabelecer procedimentos da análise experimental e modelagem numérica, visando à avaliação de uma nova proposta para a ligação por aderência. Assim é relevante a importância científica em se dominar conhecimentos referentes a este tipo de ligação quando aplicado a estruturas mistas de aço – concreto, visando sua aplicação no mercado da construção civil.

2 Alternativas à ligação viga-laje pré-fabricada

Alternativas à ligação viga metálica – laje de concreto, sem a utilização dos usuais conectores do tipo Pino, têm sido objeto de estudo há algum tempo. As ligações viga metálica – laje pré-fabricada por meio de colagem (Figura 2 8 – (a)) ou por meio de lajes pré-fabricadas fornecidas com uma nervura longitudinal na parte inferior (Figura 2 8 – (c)), foram utilizadas para desenvolver sistemas de conexão diferentes dos usuais, Pino e U – laminado.

Pesquisas interessantes utilizando esses sistemas “alternativos” são as de Yamane et al. (1998), Shim, Lee e Chang (2001), Schmidt et al. (2004), Thomann (2005), Veríssimo (2004), Bouazoui et al. (2008), Hegger, Rauscher, and Gallwoszus (2010) e Papastergiou (2012). Cabe ressaltar que algumas das referências mencionadas utilizaram e seus estudos laje moldada in-loco, entretanto nada impede que sistemas de pré-laje de concreto pré-fabricado sejam aplicados.

O presente trabalho se insere no âmbito das pesquisas que utilizam conectores lineares e lajes pré-fabricadas fornecidas com uma nervura longitudinal. As ligações por meio de conectores lineares são caracterizadas pela continuidade na distribuição dos esforços, minimizando assim as implicações da concentração de tensão na laje de concreto, diferentemente dos conectores do tipo Pino, por exemplo, que concentram tensões e originam intensa fissuração no seu entorno.

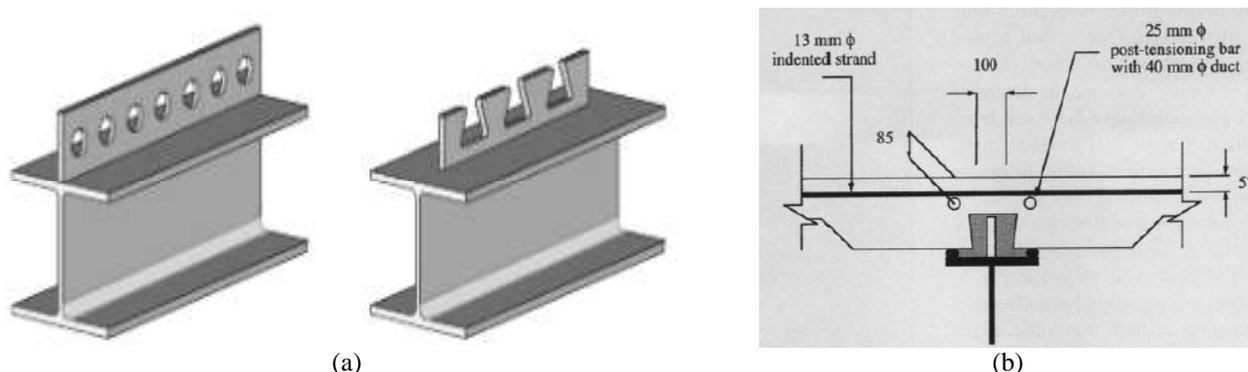


Figura 4 - Ideias promissoras para a ligação entre lajes pré-fabricadas e vigas de aço – (a) conector linear Perfobond e CR (VERRÍSSIMO, 2006), (b) nervura longitudinal (YAMANE et al., 1998).

Por este motivo, ao final da década de 80, Leonhardt et al. (1987), desenvolveram um conector de cisalhamento chamado Perfobond (Figura 2 8 – (a)). O Perfobond consiste em uma chapa plana de aço, com furos circulares, soldada sobre a mesa superior da viga de aço, idealizado a partir da necessidade de ter um conector que não permitisse atrito entre o aço e o concreto, e ao mesmo tempo, só envolvesse deformações elásticas para cargas de serviço. Uma desvantagem característica desse conector é a dificuldade para o posicionamento da armadura inferior da laje. No tocante ao Perfobond vários estudos podem ser citados, desde aqueles que estudaram sua aplicação em concretos de peso normal, como Oguejiofor e Hosain (1997) e Studnika et al. (2002), a trabalhos que avaliaram a aplicação do Perfobond em concretos leves, como o de Valente e Cruz (2004).

No intuito de mitigar as desvantagens do conector do tipo Perfobond, Veríssimo (2004) propôs uma alternativa interessante ao Perfobond, o conector CR, formado por uma chapa endentada, que permite com facilidade a passagem das barras de armadura da laje. A Figura 2 8 – (a) ilustra esses dois tipos de conectores. Em seu trabalho, Veríssimo (2004) apresenta o detalhamento do conector proposto e os resultados de ensaios de Push-out.

O conector CR apresenta um corte simétrico, com saliências e reentrâncias trapezoidais que proporcionam resistência ao cisalhamento longitudinal e previnem a separação transversal entre o perfil metálico e a laje de concreto (uplift). Quando um elemento misto com esse tipo de conector é solicitado e a laje tende a deslizar em relação ao perfil de aço, o concreto dentro das aberturas trabalha como um pino virtual no interior da laje, que proporciona resistência ao cisalhamento na direção longitudinal e evita que a laje de concreto se separe transversalmente do perfil metálico, caracterizando o chamado efeito de pino, em um comportamento bastante similar ao do Perfobond.

Os resultados dos ensaios dos conectores em chapa endentada (Veríssimo, 2004) demonstraram que sua capacidade de carga é menor que um conector Perfobond de dimensões similares. Tanto o Perfobond, como o conector CR, possibilitam aumentar a capacidade resistente da ligação, mediante o aumento da taxa de armadura transversal. Em geral, os conectores em chapa contínua apresentam maior rigidez para cargas de serviço do que os do tipo Pino.

Ainda no contexto do conector Perfobond, Vianna (2009) realizou uma investigação numérica e experimental voltada para a avaliação do desempenho estrutural de conectores de cisalhamento tipo T-Perfobond (Figura 2 9) utilizado em vigas mistas. Segundo Vianna (2009) as vantagens da utilização destes tipos de conectores alternativos incluem: alta resistência, fácil fabricação e instalação e um bom desempenho quanto ao comportamento à fadiga. A principal diferença entre o conector Perfobond já conhecido, e o conector T-Perfobond é a presença de uma mesa que proporciona uma ancoragem maior ao sistema. Este conector combina a alta resistência do conector tipo bloco com a ductilidade e a resistência dos furos do Perfobond.



Figura 5 – Conector T-Perfobond (VIANNA, 2009)

O termo ligação por aderência faz referência à uma ligação por contato entre interfaces, cuja resistência não está associada à compressão do concreto contra um conector pontual, mas sim ao cisalhamento existente entre uma ou mais interfaces entre a laje pré-fabricada de concreto e a viga de aço. Este tipo de ligação, objeto de estudo da presente investigação foi proposto inicialmente por Dauner e Antille (2002), posteriormente estudada por Thomann (2005) e Papastergiou (2012).

Um exemplo de ligação por aderência é ilustrado na Figura 6, ela representa uma condensação de diferentes ideias para este tipo de ligação, quando proposta por Thomann (2005).

Corresponde à uma laje de concreto pré-fabricado, com sulco longitudinal de encaixe (nervura), apoiada sobre viga metálica. Esta viga, por sua vez, possui na mesa superior um conector linear com superfície rugosa. Ainda na mesa superior, aplica-se uma camada adesiva, aumentando-se com isso o coeficiente de atrito, e conseqüentemente, a resistência da ligação.

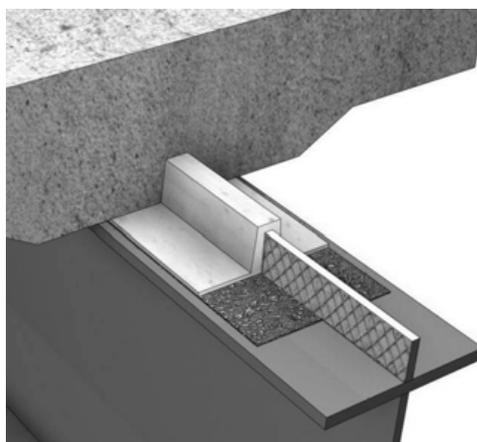


Figura 6 - Exemplo de uma ligação por aderência (THOMANN, 2005).

À superfície da nervura da laje em contato com a argamassa de cimento é aplicada certa rugosidade por meios químicos ou mecânicos, e após a protensão das lajes pré-fabricadas é injetado a argamassa de cimento entre a laje pré-fabricada e a viga de aço.

Thomann (2005), como já delineado fez uma vasta investigação experimental por meio de ensaios do tipo Push-out, cisalhamento direto, arrancamento e vigas mistas. Ele conseguiu demonstrar a viabilidade do novo sistema de ligação e propor requisitos para uma geometria específica das ranhuras do conector.

Cabe ressaltar que o trabalho de Thomann (2005) vislumbrava a utilização deste tipo de ligação em pontes mistas de concreto e aço, estruturas essas que estão

obrigatoriamente sujeitas à fadiga. O comportamento à fadiga das ligações por aderência foi objeto de estudo de Papastergiou (2012). A extensão do trabalho de Thomann (2005) e Papastergiou (2012) permitiu propor os requisitos necessários e demonstrar a viabilidade desse tipo de ligação.

Papastergiou (2012) além de avaliar o comportamento à fadiga da ligação proposta por Thomann (2005), avaliou a utilização de UHPFRC (*ultra high performance fiber reinforced concrete*) como material da laje. Papastergiou (2012), assim como na presente pesquisa, também avaliou a ligação para uma superfície do concreto com geometria conhecida. A Figura 2 11 apresenta a nova geometria proposta por Papastergiou (2012). Cabe ressaltar que essa nova geometria para a superfície da laje só foi utilizada no contexto do UHPFRC e apresentou resistências superiores quando comparada com aquela proposta por Thomann (2005).

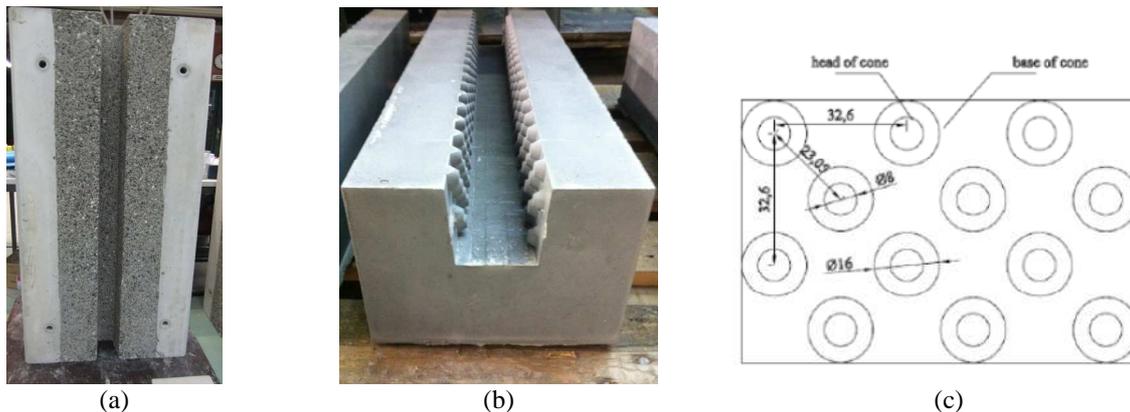


Figura 7 - Geometria para a superfície da laje: (a) Thomann (2005); (b) e (c) Papastergiou (2012).

2.1 Comportamento das ligações por aderência

Em geral, as normas não tratam dos conectores lineares, nem das ligações por aderência, tratam apenas dos conectores do tipo Pino e U – laminado, utilizados nas ligações mistas usuais, onde a transmissão de esforço se dá por meio da interação mecânica entre o concreto, armadura e conector. Para esses conectores existem várias metodologias de cálculo presentes em normas nacionais e internacionais.

Uma vez que não se encontra metodologia disponível em norma nacional ou internacional para o cálculo deste tipo de ligação, apresenta-se neste item um procedimento simplificado de cálculo proposto por Thomann (2005). Cabe ressaltar que a metodologia de cálculo aqui apresentada está associada à geometria e aos materiais utilizados pelo referido autor.

Quando solicitada ao cisalhamento, a deformação dos conectores gera tensões de compressão nas interfaces cisalhadas (Figura 9). Quando o escorregamento s é aplicado longitudinalmente entre a mesa superior da viga de aço e a laje de concreto, o descolamento u_i (o índice i se aplica as interfaces descritas na Figura 8 – (a)) ocorre perpendicularmente às interfaces, como ilustrado na Figura 8 – (b).

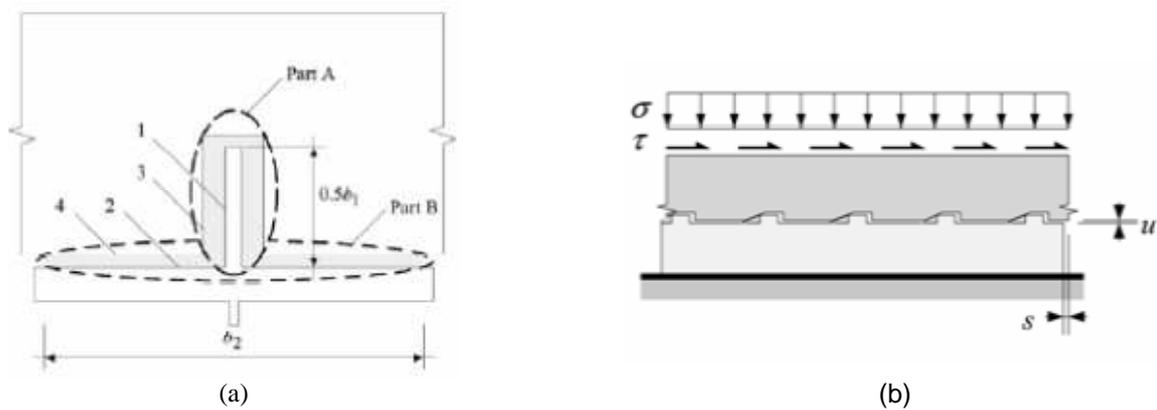


Figura 8 – (a) Interfaces envolvidas na ligação proposta por Thomann (2005); (b) Comportamento das interfaces.

A Figura 9 – (a) ilustra o descolamento u_1 que ocorre entre o conector e a argamassa de cimento (interface 1). O descolamento u_1 é parcialmente impedido, tanto pela laje de concreto envolta do conector, quanto pelas interfaces da parte B (Figura 8 – (a)). Uma força normal N , por conseguinte, desenvolve-se na armadura inferior da laje gerando a tensão cisalhante $\tau_{imp,2}$ que se desenvolve na interface camada adesiva – argamassa (interface 2).

A tensão normal de compressão $\sigma_{con,1}$ se desenvolve a partir do equilíbrio de forças na interface do conector com a argamassa de cimento (interface 1). A equação (1) expressa este equilíbrio e o sinal positivo para o valor de tensão indica compressão.

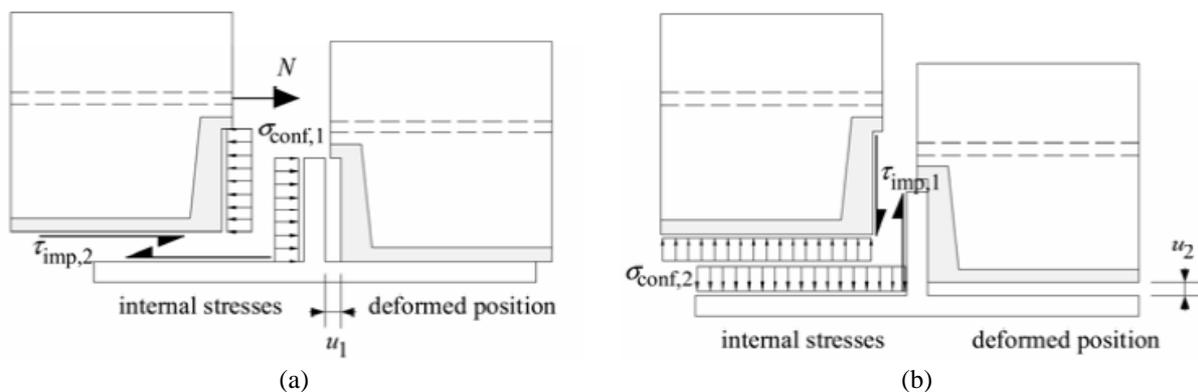


Figura 9 – Posição deformada e associação com tensões internas e forças (THOMANN, 2005).

A Figura 9 – b ilustra o descolamento u_2 que ocorre entre a camada adesiva e a argamassa de cimento (interface 2). As mesmas considerações feitas ao descolamento u_1 se aplicam ao descolamento u_2 , exceto o fato que a laje não restringe o deslocamento u_2 .

A tensão normal de compressão $\sigma_{conf,2}$ se desenvolve a partir do equilíbrio de forças na interface camada adesiva com a argamassa de cimento. A equação (2) expressa este equilíbrio.

A rigidez da laje em torno da parte A da ligação é denominada K_{slab} . Os resultados do estudo de Thomann (2005) foram utilizados para propor uma relação analítica simplificada (equação (4)) entre a K_{slab} e os parâmetros: módulo de elasticidade do concreto (E_c), a profundidade da nervura da laje (h), $h_1 = b_1/2$, h_2 e h_3 .

$$\sigma_{conf,1}(s) = \sigma_{conf,3}(s) = K_{slab}(u_1 + u_3) + \tau_{imp,2} \cdot \frac{b_2}{b_1} \quad (1)$$

$$\sigma_{conf,2}(s) = \sigma_{conf,4}(s) = \tau_{imp,1} \cdot \frac{b_1}{b_2} \quad (2)$$

$$K_{slab} = \frac{E_c h_3}{33 h h_1} \left(\frac{h_2 + h_3}{h_2} \right)^{0.3} \quad (3)$$

De acordo com o critério de ruptura proposto por Thomann (2005) para as interfaces, a resistência ao cisalhamento τ_{Ri} aumenta com o $\sigma_{conf,i}$. Embora não ilustrado na Figura 9, o descolamento u_i também ocorre nas outras interfaces (3 e 4). Esses descolamentos aumentam as tensões de confinamento ($\sigma_{conf,i}$), e conseqüentemente, implica no acréscimo da resistência ao cisalhamento τ_{Ri} . A resistência ao cisalhamento devido à u_3 e u_4 pode ser explicada de maneira análoga a u_1 e u_2 .

Além disso, tensões normais externas podem atuar nas interfaces e, por conseguinte, aumentar a resistência ao cisalhamento da ligação. Essas ações externas podem estar associadas, por exemplo, à protensão transversal ou a flexão transversal da laje. Estas ações externas devem ser computadas de acordo com a equação (4)

$$\sigma_i(s) = \sigma_{conf,i}(s) + \sigma_{ext,i} \quad (4)$$

Assim, os principais parâmetros que influenciam a resistência ao cisalhamento da ligação são:

- a. Relação escorregamento x descolamento (*slip x uplift*) das interfaces;
- b. Critério de ruptura das interfaces;
- c. Relação tensão de cisalhamento x escorregamento das interfaces;
- d. O efeito de confinamento na parte A;
- e. Geometria do conector;
- f. Ações externas.

3 Ligações por aderência – resultados específicos.

Nesta seção são apresentados resultados de ensaios do tipo Push-out realizados por Thomann (2005), Papastergiou (2012) e Diógenes (2013). Os resultados apresentados referem-se aos protótipos da série PRH 33 ensaiados por Thomann (2005), que possuem mesmo tamanho em comparação aos ensaiados por Diógenes (2013) e os protótipos da série PR66 testados por Papastergiou (2012), onde foi utilizado o UHPFRC. Na Figura 10 são apresentadas as curvas experimentais dos referidos protótipos.

Como pode ser percebido, em todos os casos estudados, Thomann (2005), Papastergiou (2012) e Diógenes (2013), a ligação por aderência é capaz de alcançar elevadas resistências, podendo inclusive apresentar uma ruptura dúctil como, por exemplo, no caso da utilização do UHPFRC por Papastergiou (2012).

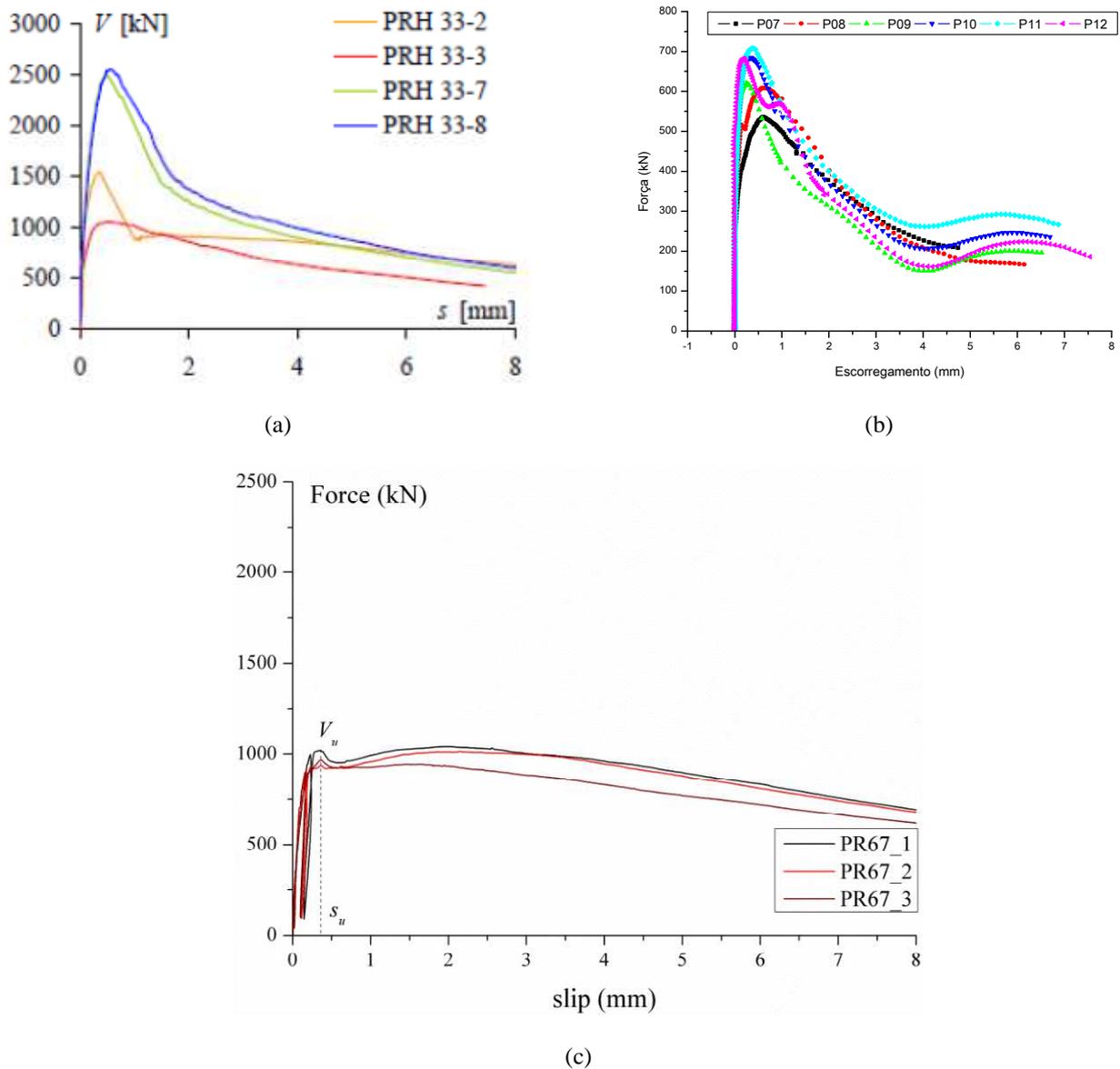


Figura 10 – Força x Escorregamento: (a) série PRH 33 Thomann (2005); (b) série definitiva Diógenes (2013); (c) série PR67 Papastergiou (2012).

Comparando-se agora, os resultados apresentados na Figura 10 com valores estimados para a resistência ao cisalhamento de conectores usuais (Tabela 1), percebe-se que para alcançar à resistência equivalente a ligação por aderência demanda-se um alto número de conectores do tipo Pino ou U-Laminado.

Cabe ressaltar que para determinar a resistência última dos conectores do tipo Pino e U-laminado se fez uso das prescrições da ABNT - NBR 8880: 2008, considerando 45 MPa para resistência do concreto e 415 MPa para a resistência à tração do aço. A comparação é realizada em termos de valor médio da resistência última de cada conector por metro linear de interface.

Tabela 1 – Comparação – Conectores usuais.

Tipo	Diâmetro ou Espessura (mm)	Resistência (kN)	Quantidade de Conectores por metro		
			PRH 33 ^a (1683,55 kN/m)	PR67 ^b (871,35 kN/m)	RP ^c (610,3 kN/m)
Pino	16	96,4	18	10	7
Pino	19	135,9	13	7	5
Pino	22	182,3	10	5	4
U-laminado	2,66	177,9	10	5	4
U-laminado	4,76	318,4	6	3	2

^aThomann (2005); ^bPapastergiou (2012); ^cDiógenes (2013).

4 Conclusões

Nota-se que combinar as duas soluções, estruturas metálicas e concreto pré-fabricado, é um sistema construtivo bastante interessante e possível, como pode ser observado pela quantidade estudos relacionadas ao tema. Dentro desse contexto, as ligações por aderência se demonstram comprovadamente promissoras, pois permitem um maior grau de pré-fabricação e apresentam elevada resistência quando comparadas a soluções usuais para a ligação viga-laje pré-fabricada. Desta forma, ainda que os primeiros resultados tenham se demonstrado relevantes, possibilitando até a sua utilização em outros países, mais estudos acerca das ligações por aderência se fazem necessários, a fim de viabilizar sua aplicação no mercado brasileiro.

5 Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

BEZERRA, L. M. (2011). **Estudo teórico-experimental da ligação entre pilares mistos preenchidos e vigas pré-moldadas de concreto**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

BOUZAOU, L. et al. (2008). Static behaviour of a full-scale steel–concrete beam with epoxy-bonding connection. **Engineering Structures**, v. 30, n. 7, p. 1981-1990, jul. 2008.

DIÓGENES, H. J. F. (2013). *Análise Numérica e Experimental de Ligações por Aderência Aço – concreto Aplicada a Estruturas Mistas*. 170 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

DAUNER, H. G. et al. (2002) **Ponts mixtes à construction rapide**. Département Fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, Office fédéral des routes, 2002.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BETÓN. **fib Model Code 2010**, 2010.

GOMES, C., TOURRUCÔO, J. (2012). **Torre rápida: Planejamento detalhado ao longo de um ano viabiliza construção de edifício corporativo em um ano e meio**. Material informativo, Odebrecht Realizações Imobiliárias. São Paulo, 2012.

HEGGER, JOSEF. RAUSCHER, SABINE. GALLWOSZUS, J. **MODERN HYBRID STRUCTURES MADE OF UHPC AND HIGH STRENGTH STEEL**. 3rd fib International Congress. Washington, D.C, 2010.

- LEONHARDT, F., ANDRÄ, W., ANDRÄ, H.-P., HARRE, W. (1987). Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit. **Beton und Stahlbetonbau**, v. 12, p. 325-331, 1987.
- OGUEJIOFORT, E. C.; HOSAINT, M. U.(1997) Numerical analysis of push-out specimens perfobond rib connectors. **Computers & Structures**, v. 62, n. 4, p. 617-624, 1997
- THOMANN, M. (2005). **Connexions par adherence pour les ponts mixtes acier-béton**. PhD. Thèse, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit, 2005.
- PAPASTERGIOU, D. (2012) **Connections by Adhesion, Interlocking and Friction for Steel-Concrete Composite Bridges under Static and Cyclic Loading**. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2012.
- SCHMITT, V. et al. (2004). Verbundbrücke Pöcking – Innovative VFT-Träger mit Betondübeln. **Stahlbau**, v. 73, n. 6, p. 387-393, jun. 2004.
- SHIM, C.-S.; LEE, P.-G.; CHANG, S.-P. (2001). Design of shear connection in composite steel and concrete bridges with precast decks. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 57, n. 3, p. 203-219, mar. 2001.
- STUDNICKA, J. et al. (2002) Perforated shear connector for composite steel and concrete beams. **Concrete**, n. 4, p. 367-378, 2002.
- THORNTON, A. HUNGSPRUEKE, B., JOSEPH, C.(2011) Tall building structures, a world view, Composite High-rise Construction in Asia. In: **Proceedings of 67th regional conference in conjunction with ASCE structures congress**. Chicago, Illinois, USA. p. 331-338, 2001.
- VALENTE, I.; CRUZ, P. J. (2004). Experimental analysis of Perfobond shear connection between steel and lightweight concrete. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 60, n. 3-5, p. 465-479, mar. 2004.
- VERÍSSIMO, G. S. (2004) **Desenvolvimento de um conector de cisalhamento em chapa dentada para estruturas mistas de aço e concreto e estudo do seu comportamento**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- VIANNA, J. C. (2009) **Avaliação do comportamento estrutural de conectores Perfobond e T-Perfobond para vigas mistas**. Tese (Doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.
- YAMANE, T., TADROS, M. K., BADIE, S. S., BAISHYA, M. C. Full Depth Precast Prestressed Concrete Bridge Deck System. **PCI Journal**, v. 43, n. 3, p. 50-57, 1998.